

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Лазовика Ярослава Александровича

на тему

«Приливная диссипация и орбитальная эволюция в системах «звезда-планета»»

по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Актуальность темы

В диссертации Я. А. Лазовика изучается вопрос приливной диссипации и ее роли в миграции горячих юпитеров. Представлены расчеты эволюции орбит горячих юпитеров под действием приливных и магнитных взаимодействий и потери массы за счет фотоиспарения и заполнения полости Роша. Тема диссертации является актуальной по следующим причинам. Во-первых, благодаря быстрому росту числа открытых в последние годы экзопланет впервые появилась возможность извлечь информацию о природе планет не только на основе наблюдений за телами Солнечной системы и использования теоретических моделей эволюции и миграции, но и из наблюдений объектов вне Солнечной системы. Расширение статистики подтвержденных на данный момент экзопланет позволило сформулировать общие закономерности, которые необходимо объяснить в рамках теории. В этом и состоит основная задача, поставленная автором диссертации. Во-вторых, растет не только число открытых экзопланет, но и точность их наблюдений. Исследование спектров атмосфер транзитных планет позволяет заглянуть в их прошлое и выявить, в какой области протопланетного диска они образовались. Таким образом, возникает необходимость провести связь

между формированием планет и их текущим состоянием, что также невозможно без применения моделей основных взаимодействий, в том числе и приливного взаимодействия.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Результаты, полученные автором, включают в себя ряд прогнозов, которые необходимо проверить посредством накопления наблюдений. Например, была оценена вероятность обнаружения миграции планеты методом смещения времени транзита. Подобные результаты позволяют выработать оптимальную стратегию наблюдений, отобрав те системы, для которых рассмотренные взаимодействия будут проявляться наиболее существенно.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации

В диссертационной работе автор оценивает темпы диссипации приливов, используя эволюционные модели планет и звезд, полученные при помощи алгоритма MESA. Эти модели часто используются в разных исследованиях при решении широкого спектра задач. Формализм, используемый при расчете диссипации, был описан в работах Адриана Баркера и Гордона Огилви, общепризнанных специалистов в области приливного взаимодействия. Параметры, задающие начальные условия моделируемых систем, а также интенсивности различных дополнительных процессов, заданы на основе калибровок, подтвержденных либо наблюдательными данными (как, например, калибровка светимости звезды в XUV-диапазоне), либо гидродинамическим моделированием (как, например, калибровка эффективности фотоиспарения). Результаты популяционного синтеза были проверены на выборке наблюдаемых горячих юпитеров, что позволяет убедиться в применимости всего алгоритма и отдельных его составляющих к описанию реальных систем. Полученные автором темпы диссипации планетных приливов находятся в согласии с оценками,

вычисленными на основе астрометрических данных Юпитера, Сатурна и их спутников.

Новизна исследования

Стоит отметить, что реализованный автором алгоритм отличается от работ на схожую тематику широтой рассматриваемых процессов. Одной из ключевых составляющих его модели орбитальной эволюции является диссипация приливных гравитационных волн в недрах звезды. Данный механизм, способный приводить к интенсивной миграции, впервые был изучен на популяционном уровне.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении приведен исторический очерк проблематики исследований в области эволюции систем с экзопланетами, описаны современные достижения в изучении приливного взаимодействия, обоснована актуальность выбранной автором темы, сформулирован список задач и выносимых на защиту положений.

Глава 1 посвящена рассмотрению взаимодействий, изучаемых в работе, а также численных методов их моделирования. Приведено описание процедуры расчета диссипации квазистационарных приливов, приливных инерциальных и гравитационных волн, указана калибровка магнитного взаимодействия и процессов фотоиспарения и стабильной аккреции. Также в этой главе приведен список уравнений для расчета орбитальной эволюции системы «звезда-планета» в рамках принятой автором модели.

В главе 2 автор проводит результаты численного моделирования миграции планет в зависимости от различных условий. Сделаны выводы о том, как изменение параметров системы влияет на ход ее эволюции. Автор подчеркивает, что характер миграции планет определяется рядом факторов, наиболее важным из которых является фактор начального вращения звезды.

В главе 3 исследуется динамика популяции планет под действием вышеперечисленных процессов. Выявлены модели популяции, способные обеспечить высокий уровень соответствия с наблюдаемым распределением экзопланет. Получена статистика миграции и выпадения горячих юпитеров на свои звезды.

В главе 4 автор оценивает темпы диссипации планетных приливов в зависимости от массы планеты, возраста и величины падающего потока излучения. Данные оценки использованы автором для объяснения эксцентриситетов орбит наблюдаемых горячих и теплых газовых планет-гигантов, обоснована доминирующая роль инерциальных волн в циркуляризации планет.

В главе 5 приводится обсуждение полученных результатов в контексте работ, выполненных другими авторами в схожих областях исследований.

В Заключении представлены основные результаты диссертационной работы. Эти результаты опубликованы в трех публикациях в высокорейтинговом научном журнале *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, в которых Я.А. Лазовик является первым автором. Приведен список основных неопределенностей разработанной автором модели орбитальной эволюции, описаны направления для будущей работы.

Диссертация написана доступным языком, оформление работы отвечает принятым стандартам. В целом по научному содержанию диссертации можно указать следующие основные замечания:

- Во введении можно было бы подчеркнуть, что в планетной системе может быть несколько планет, в том числе не только горячие юпитеры. На эволюцию орбит планет влияло также гравитационное влияние других планет и планетезималей и сопротивление и аккреция газа. В диссертации рассматривается только взаимодействие горячего юпитера со звездой.

- Планетная космогония в мире в значительной мере началась с работ сотрудников ИФЗ РАН. Ни одной ссылки на их работы (и вообще на работы на русском языке) в диссертации нет. Монография В. С. Сафронова,

переведенная и на английский язык, вышла, например, на 7 лет раньше, чем статья, соответствующая ссылке 3 в автореферате, рассматривающая формирование ядер планет. За свои работы по космогонии В. С. Сафронов, в частности, получил американскую Премию Койпера в 1990 г. При изложении материала вместо англоязычных терминов (балдж, мода, ротатор) можно было пользоваться аналогами русских слов. Например, вместо «симуляции» можно писать «моделирование», а вместо «код» - алгоритм.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертация оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Лазовик Ярослав Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник

Лаборатории термодинамики и

математического моделирования

природных процессов Федерального

государственного бюджетного учреждения науки

«Институт геохимии и аналитической химии

имени В. И. Вернадского РАН» (ГЕОХИ РАН)

Ипатов Сергей Иванович

23 апреля 2024 года

Контактные данные:

тел.: +7 (926) 379-28-10, e-mail: ipatov@geokhi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.02.01 - ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Адрес места работы:

119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 19, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции «Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского Российской академии наук» (ГЕОХИ РАН), Лаборатория термодинамики и математического моделирования природных процессов.

Тел.: + 7(499) 137-14-84; e-mail: director@geokhi.ru

Подпись сотрудника ГЕОХИ РАН

С. И. Ипатова удостоверяю: